

Docket No.: 50212-535

**PATENT**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of	:	Customer Number: 20277
	:	
Yoshiki NISHIBAYASHI, et al.	:	Confirmation Number:
	:	
Serial No.:	:	Group Art Unit:
	:	
Filed: September 15, 2003	:	Examiner: Unknown
	:	
For:		MICROFABRICATED DIAMOND ELEMENT AND METHOD OF FABRICATING MICROFABRICATED DIAMOND ELEMENT

**CLAIM OF PRIORITY AND  
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop IDS  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

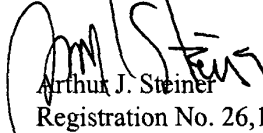
In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claims the priority of:

**Japanese Patent Application No. 2002-276425, filed September 20, 2002**

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

  
Arthur J. Steiner  
Registration No. 26,106

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 AJS:tlb  
Facsimile: (202) 756-8087  
**Date: September 15, 2003**

50212-535

NISHIBAYASHI et al.  
September 15, 2003

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

*McDermott, Will & Emery*

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 9月20日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-276425

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-276425 ]

出 願 人

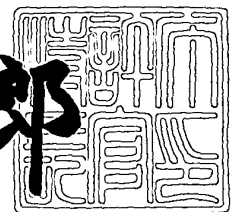
Applicant(s):

財団法人ファインセラミックスセンター  
住友電気工業株式会社

2003年 6月18日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3047664

【書類名】 特許願

【整理番号】 102I0303

【提出日】 平成14年 9月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 29/24

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府吹田市山田丘2番1号 大阪大学先導的研究オープンセンター6F

【氏名】 西林 良樹

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府吹田市山田丘2番1号 大阪大学先導的研究オープンセンター6F

【氏名】 安藤 豊

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

【氏名】 今井 貴浩

【特許出願人】

【識別番号】 000173522

【氏名又は名称】 財団法人ファインセラミックスセンター

【代表者】 佐波 正一

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代表者】 岡山 紀男

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【その他】

国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成14年度新エネルギー・産業技術総合開発機構、炭素系高機能材料技術の研究開発（エネルギー使用合理化技術開発）委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの）

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 微細加工ダイヤモンド素子及び微細加工ダイヤモンド素子作製方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に、ダイヤモンドを含んで成る断面四角形の柱状体が少なくとも一つ形成されており、

前記柱状体の断面における長辺及び短辺の長さが下記式（１）及び（２）；

【数 1】

$$C_1 = 2a\sqrt{1+k^2} \dots (1)$$

$$n\lambda \approx C_1 \dots (2)$$

$C_1$ ：前記柱状体の内部で発生した光が前記柱状体の側面で反射しつつ同一周回路を周回するときの一周の距離 [nm]

n：任意の正の整数

$\lambda$ ：前記ダイヤモンドの発光ピーク波長 [nm]

a：前記長辺の長さ [nm]

k：前記短辺の長さの前記長辺の長さに対する比で表される関係式を満たすものである

ことを特徴とする微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 2】 基板上に、ダイヤモンドを含んで成る断面略正六角形の柱状体が少なくとも一つ形成されており、

前記柱状体の断面における辺の長さが下記式（３）及び（４）；

【数 2】

$$C_2 = 3\sqrt{3}b \dots (3)$$

$$n\lambda \approx C_2 \dots (4)$$

$C_2$ ：前記柱状体の内部で発生した光が前記柱状体の側面で反射しつつ同一周回路を周回するときの一周の距離 [nm]

n：任意の正の整数

$\lambda$  : 前記ダイヤモンドの発光ピーク波長 [nm]

$b$  : 前記辺の長さ [nm]

で表される関係式を満たすものである

ことを特徴とする微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 3】 基板上に、ダイヤモンドを含んで成る断面円状の柱状体が少なくとも一つ形成されており、

前記柱状体の断面における半径の長さが  $r$  [nm] であり、

前記柱状体の内部で発生した光が前記柱状体の側面で反射しつつ同一周回路を周回するときの周回路が、中心から角までの距離が  $r$  [nm] である正多角形として表され、

前記正多角形の外周の長さ  $C_3$  [nm] が下記式 (5) 及び (6) ;

【数 3】

$$3\sqrt{3}r < C_3 < 2\pi \dots (5)$$

$$n\lambda \approx C_3 \dots (6)$$

$n$  : 任意の正の整数

$\lambda$  : 前記ダイヤモンドの発光ピーク波長 [nm]

$r$  : 前記半径 [nm]

で表される関係式を満たすものである

ことを特徴とする微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 4】 前記柱状体の側面がダイヤモンド結晶面から成る平坦面を含んで構成されている

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 5】 前記ダイヤモンド結晶面が (100) 面である

ことを特徴とする請求項 4 記載の微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 6】 前記柱状体の幅  $w_1$  が下記式 (7) ;

【数 4】

$$w_1 = a\sqrt{1+k^2} \dots (7)$$

で表され、

前記幅  $w_1$  が 5 0 0 n m 以下である

ことを特徴とする請求項 1 に記載の微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 7】 前記柱状体の幅  $w_2$  が下記式 (8) ；

【数 5】

$$w_2 = 2b \dots (8)$$

で表され、

前記幅  $w_2$  が 5 0 0 n m 以下である

ことを特徴とする請求項 2 に記載の微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 8】 前記柱状体の直径が 5 0 0 n m 以下である

ことを特徴とする請求項 3 に記載の微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 9】 前記柱状体の幅  $w_1$  が下記式 (7) ；

【数 6】

$$w_1 = a\sqrt{1+k^2} \dots (7)$$

で表され、

前記柱状体の高さの前記幅  $w_1$  に対する比が 2 以上である

ことを特徴とする請求項 1 に記載の微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 1 0】 前記柱状体の幅  $w_2$  が下記式 (8) ；

【数 7】

$$w_2 = 2b \dots (8)$$

で表され、

前記柱状体の高さの前記幅  $w_2$  に対する比が 2 以上である

ことを特徴とする請求項 2 に記載の微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 1 1】 前記柱状体の高さの前記柱状体の直径に対する比が 2 以上である

ことを特徴とする請求項 3 に記載の微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 1 2】 前記柱状体における断面面積の柱状体全面積に対する比が  $1/10$  以下である

ことを特徴とする請求項 1 ないし 1 1 のいずれか 1 項に記載の微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 1 3】 前記柱状体が等間隔に配列されている

ことを特徴とする請求項 1 ないし 1 2 のいずれか 1 項に記載の微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 1 4】 前記柱状体の側面の一部に、前記ダイヤモンドよりも屈折率の低い光透過膜が形成された

ことを特徴とする請求項 1 ないし 1 3 のいずれか 1 項に記載の微細加工ダイヤモンド素子。

【請求項 1 5】 反応室中にダイヤモンド基板に近接して金属を設置した上、前記反応室中で前記ダイヤモンド基板に対してリアクティブイオンエッチングを行うエッチングステップを含む

ことを特徴とする微細加工ダイヤモンド素子作製方法。

【請求項 1 6】 前記エッチングステップにおいて、前記反応室中に、反応ガスとして  $CF_4$  の流量比が 3 % 以下である  $CF_4/O_2$  ガスが導入される

ことを特徴とする請求項 1 5 記載の微細加工ダイヤモンド素子作製方法。

【請求項 1 7】 直径 500 nm 以下の整列された微細 A 1 ドットをダイヤモンド基板にパターニングし、

$CF_4$  の流量比が 3 % 以下である  $CF_4/O_2$  ガスが導入された反応室中で前記ダイヤモンド基板をリアクティブイオンエッチングする

ことを特徴とする微細加工ダイヤモンド素子作製方法。

【請求項 1 8】 前記エッチングステップにより微細突起が形成された前記ダイヤモンド基板を、主として水素から成るガスのプラズマに曝すダイヤモンド



結晶面形成ステップを更に含む

ことを特徴とする請求項 1 5 ないし 1 7 のいずれか 1 項に記載の微細加工ダイヤモンド素子作製方法。

【請求項 1 9】 基板上に、ダイヤモンドを含んで成ると共に最大外径が 5 0 n m 以下である断面四角形の柱状体が少なくとも一つ形成されており、前記柱状体の断面における長辺及び短辺の長さが下記式 ( 9 ) 及び ( 1 0 ) ；

【数 8】

$$n\gamma \approx 2a \cdots (9)$$

$$m\gamma \approx 2ka \cdots (10)$$

n : 任意の正の整数

m : 任意の正の整数

$\gamma$  : 前記ダイヤモンド中における電子又は正孔のドブロイ波長 [ n m ]

a : 前記長辺の長さ [ n m ]

k : 前記短辺の長さの前記長辺の長さに対する比

で表される関係式を満たすものである

ことを特徴とする微細加工ダイヤモンド素子。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、発光素子等に用いられる微細加工ダイヤモンド素子及び微細加工ダイヤモンド素子作製方法に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

従来の発光素子に用いられる微細加工ダイヤモンド素子としては、例えば New Diamond (Japan New Diamond Forum) Vol.17 No.4 (2001) 1 0 頁以下に示されているように任意の形状のダイヤモンド柱に P N 接合面を形成するものがあつた。

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】 特開 2 0 0 2 - 0 7 5 1 7 1 号公報

【非特許文献 1】 New Diamond (Japan New Diamond Forum) Vol.17 N

o.4 (2001) 1 0 頁以下

【非特許文献 2】 第 4 7 回応用物理学関係連合講演会－講演予稿集 N

o.1 30a-YQ-3 (3 7 7 頁)

【非特許文献 3】 第 4 6 回応用物理学関係連合講演会－講演予稿集 N

o.1 30p-M-12 (4 1 5 頁)

【非特許文献 4】 第 6 2 回応用物理学関係連合講演会－講演予稿集 N

o.3 13a-ZK-5 (7 8 2 頁)

【0 0 0 4】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来の発光素子に用いられる微細加工ダイヤモンド素子では発光効率が不十分であった。

【0 0 0 5】

本発明は、上記問題を解決するためになされたものであり、発光効率を向上させる形状の微細加工ダイヤモンド素子を提供することを目的とする。

【0 0 0 6】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、基板上に、ダイヤモンドを含んで成る断面四角形の柱状体が少なくとも一つ形成されており、柱状体の断面における長辺及び短辺の長さが下記式 (1) 及び (2) ；

【数 9】

$$C_1 = 2a\sqrt{1+k^2} \cdots (1)$$

$$n\lambda \approx C_1 \cdots (2)$$

$C_1$  : 柱状体の内部で発生した光が柱状体の側面で反射しつつ同一周回路を周回するときの一周の距離 [nm]

$n$  : 任意の正の整数

$\lambda$  : ダイヤモンドの発光ピーク波長 [nm]

$a$  : 長辺の長さ [nm]

$k$  : 短辺の長さの長辺の長さに対する比

で表される関係式を満たすものであることを特徴とする。

【0007】

また、上記課題を解決するために、本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、基板上に、ダイヤモンドを含んで成る断面略正六角形の柱状体が少なくとも一つ形成されており、柱状体の断面における辺の長さが下記式(3)及び(4)；

【数10】

$$C_2 = 3\sqrt{3}b \cdots (3)$$

$$n\lambda \approx C_2 \cdots (4)$$

$C_2$  : 柱状体の内部で発生した光が柱状体の側面で反射しつつ同一周回路を周回するときの一周の距離 [nm]

$n$  : 任意の正の整数

$\lambda$  : ダイヤモンドの発光ピーク波長 [nm]

$b$  : 辺の長さ [nm]

で表される関係式を満たすものであることを特徴とする。

【0008】

また、上記課題を解決するために、本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、基板上に、ダイヤモンドを含んで成る断面円状の柱状体が少なくとも一つ形成されており、柱状体の断面における半径の長さが  $r$  [nm] であり、柱状体の内部で発生した光が柱状体の側面で反射しつつ同一周回路を周回するときの周回路が、中心から角までの距離が  $r$  [nm] である正多角形として表され、

正多角形の外周の長さ  $C_3$  [nm] が下記式(5)及び(6)；

【数 1 1】

$$3\sqrt{3}r < C_3 < 2\pi r \cdots (5)$$

$$n\lambda \approx C_3 \cdots (6)$$

n : 任意の正の整数

 $\lambda$  : ダイヤモンドの発光ピーク波長 [nm]

r : 半径 [nm]

で表される関係式を満たすものであることを特徴とする。

【0 0 0 9】

柱状体の内部で発生した光の一部は柱状体の側面で反射しつつ、柱状体の内部を周回する。上記の関係式が満たされることにより、かかる周回路の一周分の距離は、ダイヤモンドの発光ピーク波長の略整数倍に該当することになる。そのため、発光ピーク波長の光（柱状体の長さ方向に対し垂直に進行する光及び柱状体の長さ方向に僅かな進行成分を含む光）が柱状体の内部で共振し、減衰することなく外部に取り出される。その結果、発光効率が向上する。

【0 0 1 0】

本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、柱状体の側面がダイヤモンド結晶面から成る平坦面を含んで構成されていることが好適である。

【0 0 1 1】

また、本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、ダイヤモンド結晶面が（1 0 0）面であることが好適である。

【0 0 1 2】

側面がダイヤモンド結晶面から成るきれいな平坦面であることにより、側面における光の反射が規則的になる。そのため、柱状体の内部で発生した光が定常波になりやすい。ダイヤモンド結晶面が（1 0 0）面であるときにもっともきれいな平坦面が形成される。

【0 0 1 3】

本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、柱状体の幅  $w_1$  が下記式（7）；

【数 1 2】

$$w_1 = a\sqrt{1+k^2} \dots (7)$$

で表され、幅  $w_1$  が 5 0 0 n m 以下であることが好適である。

【0 0 1 4】

また、本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、柱状体の幅  $w_2$  が下記式 (8)

;

【数 1 3】

$$w_2 = 2b \dots (8)$$

で表され、幅  $w_2$  が 5 0 0 n m 以下であることが好適である。

【0 0 1 5】

また、本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、柱状体の直径が 5 0 0 n m 以下であることが好適である。

【0 0 1 6】

柱状体の幅 (直径) が 5 0 0 n m 以下であるとき、キャリア (電子・正孔) の閉じ込めが十分なものとなり、再結合確率が増加して発光しやすい。柱状体の幅 (直径) (サイズ) とカソードルミネッセンス強度との関係を表 1 に示す。

【0 0 1 7】

【表 1】

サイズ	2 $\mu$ m	1 $\mu$ m	700nm	500nm	300nm	基板
強度	2	3	5	10	20	1

注) 強度は、基板を 1 とした相対強度

【0 0 1 8】

本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、柱状体の幅  $w_1$  が下記式 (7) ;

【数 1 4】

$$w_1 = a\sqrt{1+k^2} \dots (7)$$

で表され、柱状体の高さの幅  $w_1$  に対する比が 2 以上であることが好適である。

【0 0 1 9】

また、本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、柱状体の幅  $w_2$  が下記式 (8)

;

【数 1 5】

$$w_2 = 2b \dots (8)$$

で表され、柱状体の高さの幅  $w_2$  に対する比が 2 以上であることが好適である。

【0 0 2 0】

また、本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、柱状体の高さの柱状体の直径に対する比が 2 以上であることが好適である。

【0 0 2 1】

アスペクト比（柱状体の高さの幅又は直径に対する比をアスペクト比という。）が 2 以上であるときに、キャリア（電子・正孔）が基板側に逃げにくくなり、再結合確率が増加して発光しやすくなる。アスペクト比とカソードルミネッセンス強度との関係を表 2 に示す。

【0 0 2 2】

【表 2】

アスペクト比	0.5	1	1.4	2	3	基板
強度	2	3	5	10	20	1

注) 強度は、基板を 1 とした相対強度

【0 0 2 3】

本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、柱状体における断面面積の柱状体全面

積に対する比が  $1/10$  以下であることが好適である。

【0024】

柱状体における断面面積の柱状体全面積に対する比が  $1/10$  以下のときに、キャリア（電子・正孔）が基板側に逃げにくくなり、再結合確率が増加して発光しやすくなる。面積比とカソードルミネッセンス強度との関係を表3に示す。

【0025】

【表3】

面積比	1/3	1/6	1/7.6	1/10	1/14	基板
強度	2	3	5	10	20	1

注)強度は、基板を1とした相対強度

【0026】

本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、柱状体が等間隔に配列されていることが好適である。

【0027】

かかる構成により微細加工ダイヤモンド素子を適用したデバイスが作製しやすくなる。一方、取り出した波長に合わせた周期を与えることによって単色化やレーザ化などに応用することが可能となる。

【0028】

本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、柱状体の側面の一部に、ダイヤモンドよりも屈折率の低い光透過膜が形成されたことが好適である。

【0029】

柱状体の側面で反射を繰り返す光がこの光透過膜を介して外部に取り出される。

【0030】

本発明の微細加工ダイヤモンド素子製造方法は、反応室中にダイヤモンド基板に近接して金属を設置した上、反応室中でダイヤモンド基板に対してリアクティブイオンエッチングを行うエッチングステップを含むことを特徴とする。

【0031】

フォトリソグラフィーでは不可能な微細なマスクを形成することができる。

【 0 0 3 2 】

本発明の微細加工ダイヤモンド素子製造方法は、直径 5 0 0 n m 以下の整列された微細 A 1 ドットをダイヤモンド基板にパターニングし、 $\text{CF}_4$  の流量比が 3 % 以下である  $\text{CF}_4/\text{O}_2$  ガスが導入された反応室中でダイヤモンド基板をリアクティブイオンエッチングすることが好適である。

【 0 0 3 3 】

かかる製造方法により、整列した柱状体が形成される。また、取り出す波長に合わせた間隔で整列させることもでき、外部で共振させることにより単色化したり、レーザ光にすることができる。ここで、基板が単結晶のものや面内に高配向したものを利用すると、後のプロセスで柱状体の向きを自動的にそろえることができ好都合である。

【 0 0 3 4 】

本発明の微細加工ダイヤモンド素子製造方法は、エッチングステップにおいて、反応室中に、反応ガスとして  $\text{CF}_4$  の流量比が 3 % 以下である  $\text{CF}_4/\text{O}_2$  ガスが導入されることが好適である。

【 0 0 3 5 】

プラズマガスが酸素のみであると一つの突起の先端部に多数本の針状部が形成されるが、 $\text{CF}_4$  が 1 ~ 3 % 添加されることにより針状部の本数は個々の独立した一本になる。

【 0 0 3 6 】

本発明の微細加工ダイヤモンド素子製造方法は、エッチングステップにより微細突起が形成されたダイヤモンド基板を、主として水素から成るガスのプラズマに曝すダイヤモンド結晶面形成ステップを更に含むことが好適である。

【 0 0 3 7 】

柱状体の側面がダイヤモンド結晶面に再構成される。

【 0 0 3 8 】

上記課題を解決するために、本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、基板上に、ダイヤモンドを含んで成ると共に最大外径が 5 0 n m 以下である断面四角形の



柱状体が少なくとも一つ形成されており、柱状体の断面における長辺及び短辺の長さが下記式（９）及び（１０）；

【数 1 6】

$$n\gamma \approx 2a \dots (9)$$

$$m\gamma \approx 2ka \dots (10)$$

n：任意の正の整数

m：任意の正の整数

$\gamma$ ：ダイヤモンド中における電子又は正孔のドブロイ波長 [nm]

a：長辺の長さ [nm]

k：短辺の長さの長辺の長さに対する比

で表される関係式を満たすものであることを特徴とする。

【 0 0 3 9】

長辺方向及び短辺方向に進行する電子（正孔）のドブロイ波が定常波を形成することにより、ダイヤモンド中の電子が励起されやすくなる。その効果は、電子（正孔）を閉じ込める柱状体が断面最大外径 5 0 nm 以下の狭い幅であるときに顕著になる。その結果、発光効率が向上する。

【 0 0 4 0】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。

【 0 0 4 1】

（第 1 実施形態）

まず、第 1 実施形態の微細加工ダイヤモンド素子（ダイヤモンド素子 1）の構造を説明する。図 1 は、ダイヤモンド素子 1 を簡略化した模式図である。ダイヤモンド素子 1 は、基板 1 1 と、基板 1 1 上に等間隔に配列されており、ダイヤモンドから成ると共に側面が平坦面である複数の四角柱 1 2（微細突起）を備えている。四角柱 1 2 を構成するダイヤモンドは、電子ビーム照射、X 線照射、光励

起、電流注入、加熱などの励起手段に対して発光特性を有し、かつ発生する光のスペクトル全体はブロードであったり、急峻であったりするが、特に光度が強くなる波長（発光ピーク波長 $\lambda$  [nm]）を有する。なお、発光効率が劣ることになるが、発光ピーク波長に代えて他の波長成分に合わせて柱状体（四角柱 1 2）の断面形状を設計し、所望の波長成分の光を取り出すことも考えられる。

## 【 0 0 4 2 】

四角柱 1 2 を構成するダイヤモンドとしてはヘテロエピタキシャルダイヤモンドや高配向ダイヤモンド膜（面方位が $5^\circ$  以内で揃っていることが好適である。）などを用いることもできる。また、基板 1 1 の材質に限定はない。ただし、高配向ダイヤモンド膜基板においては粒子のサイズを突起のサイズの 2 倍程度にしておく必要がある。これによって電氣的な供給を粒界の影響から除去しておく効果がある。

## 【 0 0 4 3 】

各四角柱 1 2 の一側面には $\text{SiO}_2$  薄膜 1 3 （図 1 には示されていない。）が形成されている。四角柱 1 2 は、ダイヤモンド及び $\text{SiO}_2$  よりも屈折率の低い物質で覆われている。この低屈折率物質の状態に制限はなく、気体でも、他の個体材質であってもよい。例えば空気を四角柱 1 2 の周囲に充満させるのが好適である。また、四角柱 1 2 の周囲は真空であってもよい。

## 【 0 0 4 4 】

図 5 は、四角柱 1 2 の端面 1 2 f の形状を示す。図 5 A に示すように、端面 1 2 f は、長辺の長さが $a$  [nm]、短辺の長さが $ka$  [nm] の四角形であり、短辺側の側面に $\text{SiO}_2$  薄膜 1 3 が形成されている。ただし、長辺の長さ $a$  [nm]、短辺の長さ $ka$  [nm] は下記式（1）及び（2）の関係式を満たす。

## 【 0 0 4 5 】

## 【 数 1 7 】

$$C_1 = 2a\sqrt{1+k^2} \dots (1)$$

$$n\lambda \approx C_1 \dots (2)$$

$C_1$  : 四角柱 1 2 の内部で発生した光が四角柱 1 2 の側面で反射しつつ同一周回路を周回するときの一周の距離 [nm]

$n$  : 任意の正の整数

【 0 0 4 6 】

四角柱 1 2 の幅  $w_1$  (下記式 (7) で表されるように、対角線の長さで定義される。) は、四角柱 1 2 の高さの  $1/2$  以下 (アスペクト比が 2 以上) であり、かつ 50.0 nm 以下になるように調整されている。

【 0 0 4 7 】

【数 1 8】

$$w_1 = a\sqrt{1+k^2} \dots (7)$$

【 0 0 4 8 】

また、端面 1 2 f の面積は、四角柱 1 2 の柱状体全面積の  $1/10$  以下になるように調整されている。

【 0 0 4 9 】

次に、ダイヤモンド素子 1 の作用・効果を説明する。間接遷移型のバンド構造を有するダイヤモンドではキャリア (電子・正孔) の寿命が比較的長いので、上記のように四角柱 1 2 を幅の狭い、縦長の形状にし、キャリア (電子・正孔) を狭いダイヤモンド結晶構造中に閉じ込めることにより、電子-正孔対が再結合して発光しやすくなる。

【 0 0 5 0 】

四角柱 1 2 は低屈折率物質で覆われているので、四角柱 1 2 内部で発生した光の一部は四角柱 1 2 の側面で反射を繰り返す。図 5 A に、低い入射角度で側面に到達し、側面で反射しつつ進行する光の経路が示されている。かかる進行経路を一周する距離は、上記式 (1) の右辺、すなわち端面 1 2 f の対角線の長さの 2 倍に相当する。したがって、端面 1 2 f の長辺の長さ  $a$  [nm] 及び短辺の長さ  $ka$  [nm] が上記式 (1) の関係式を満たすように調整されることにより、光 (柱状体の長さ方向に対し垂直に進行する光又は柱状体の長さ方向に僅かな進行

成分を含む光)は進行経路において定常波となる。そのため、四角柱12内部で光が共振し、減衰することなく光が外部に取り出される。四角柱12内部で発生した光は、四角柱12の側面又は端面12fから少しずつ漏れていくが、本実施形態では一側面にダイヤモンド(屈折率:2.5)よりも屈折率の低い $\text{SiO}_2$ 薄膜13(屈折率:1.5)が形成されているので、 $\text{SiO}_2$ 薄膜13を介して光が外部に出射しやすくなる。

## 【0051】

端面12fの形状は正方形( $k=1$ )であってもよい。図5Bに、端面12fが正方形であるときに側面で反射しつつ進行する光の経路を示す。

## 【0052】

四角柱12の側面が平坦面であるので、側面における光の反射が規則的になる。そのため、四角柱12内部で発生した光が定常波になりやすい。

## 【0053】

なお、柱状体の長さ方向に僅かな進行成分を含む光が柱状体の上面から出射するためには、柱状体の上面が突起形状など平坦面でないことが好ましい。この場合、光を上部から取り出せるので、側面にダイヤモンドより屈折率の低い材料を形成しておく必要はない。

## 【0054】

また、発光させるための励起手段は電子線照射のカソードルミネッセンスであってもよいし、X線による励起であってもよい。また、pn接合型あるいはpin接合型への電氣的注入による励起であってもよい。

## 【0055】

基板11に四角柱12が形成されたダイヤモンド素子1は、トランジスタに適用することもできる。図8は、ダイヤモンド素子1を適用したトランジスタ8の縦断面図である。基板11上には、各四角柱12の間を埋めるように、順次、第1の絶縁膜86、ゲート金属膜84、第2の絶縁膜86が積層されている。ゲート金属膜84と四角柱12は電氣的に接続されている。第2の絶縁膜86の上には、四角柱12と電氣的に接続するように電極金属膜82が形成されている。基板11及び四角柱12を構成するダイヤモンドは、ホウ素を含有し導電性とされ

ている。

【0056】

ゲート金属膜84と四角柱12との間にはショットキー障壁があり、フェルミ準位の高いゲート金属膜84から四角柱12に電子が流れ込み、四角柱12中に空乏層が生じる。ゲート金属膜84に正負の電圧を印加することにより空乏層の厚さを増減させて、基板11から電極金属膜82へ流れる電流の強さを制御する。

【0057】

四角柱12の幅が狭いほど、電流の制御は容易になる。また、四角柱12の数を多くすることにより高電流を流すことができる。

【0058】

本実施形態のダイヤモンド素子1では、四角柱12の側面が平坦になっているのでゲート金属膜84との電氣的接続が良好になる。そのため、空乏層の厚さの制御が容易になる。

【0059】

(第2実施形態)

まず、第2実施形態の微細加工ダイヤモンド素子(ダイヤモンド素子2)の構造を説明する。図2は、ダイヤモンド素子2を簡略化した模式図である。ダイヤモンド素子2は、基板21と、基板21上に等間隔に配列されており、ダイヤモンドから成ると共に側面が平坦面である複数の六角柱22(微細突起)を備えている。六角柱22を構成するダイヤモンドは、電子ビーム照射、X線照射、光励起、電流注入、加熱などの励起手段に対して発光特性を有し、かつ発生する光のスペクトル全体はブロードであったり、急峻であったりするが、特に光度が強くなる波長(発光ピーク波長 $\lambda$  [nm])を有する。なお、発光効率が劣ることになるが、発光ピーク波長に代えて他の波長成分に合わせて柱状体(六角柱22)の断面形状を設計し、所望の波長成分の光を取り出すことも考えられる。

【0060】

各六角柱22の一側面には $\text{SiO}_2$ 薄膜23(図2には示されていない。)が形成されている。六角柱22は、ダイヤモンド及び $\text{SiO}_2$ よりも屈折率の低い

物質で覆われている。

【0 0 6 1】

図 6 は、六角柱 2 2 の端面 2 2 f の形状を示す。図 6 に示すように、端面 2 2 f は、一辺の長さが  $b$  [nm] の六角形であり、一側面に  $\text{SiO}_2$  薄膜 2 3 が形成されている。ただし、一辺の長さ  $b$  [nm] は下記式 (3) 及び (4) の関係式を満たす。

【0 0 6 2】

【数 1 9】

$$C_2 = 3\sqrt{3}b \cdots (3)$$

$$n\lambda \approx C_2 \cdots (4)$$

$C_2$  : 六角柱 2 2 の内部で発生した光が六角柱 2 2 の側面で反射しつつ同一周回路を周回するときの一周の距離 [nm]

$n$  : 任意の正の整数

【0 0 6 3】

六角柱 2 2 の幅  $w_2$  (下記式 (8) で表されるように、最長対角線の長さで定義される。) は、六角柱 2 2 の高さの  $1/2$  以下 (アスペクト比が 2 以上) であり、かつ 500 nm 以下になるように調整されている。

【0 0 6 4】

【数 2 0】

$$w_2 = 2b \cdots (8)$$

【0 0 6 5】

また、端面 2 2 f の面積は、六角柱 2 2 の柱状体全面積の  $1/10$  以下になるように調整されている。

【0 0 6 6】

次に、ダイヤモンド素子 2 の作用・効果を説明する。六角柱 2 2 は低屈折率物質で覆われているので、六角柱 2 2 内部で発生した光の一部は六角柱 2 2 の側面

で反射を繰り返す。図 6 に、低い入射角度で側面に到達し、側面で反射しつつ進行する光の経路が示されている。かかる進行経路を一周する距離は、上記式 (3) の右辺に相当する。したがって、端面 2 2 f の一辺の長さ  $b$  [nm] が上記式 (3) の関係式を満たすように調整されることにより、光 (柱状体の長さ方向に対し垂直に進行する光又は柱状体の長さ方向に僅かな進行成分を含む光) は進行経路において定常波となる。そのため、六角柱 2 2 内部で光が共振し、減衰することなく光が外部に取り出される。六角柱 2 2 内部で発生した光は、六角柱 2 2 の側面又は端面 2 2 f から少しずつ漏れていくが、本実施形態では一側面にダイヤモンド (屈折率: 2.5) よりも屈折率の低い  $\text{SiO}_2$  薄膜 2 3 (屈折率: 1.5) が形成されているので、 $\text{SiO}_2$  薄膜 2 3 を介して光が外部に出射しやすくなる。その他実施形態 1 におけると同様の作用・効果を得ることができる。

## 【0067】

## (第 3 実施形態)

まず、第 3 実施形態の微細加工ダイヤモンド素子 (ダイヤモンド素子 3) の構造を説明する。図 3 は、ダイヤモンド素子 4 を簡略化した模式図である。ダイヤモンド素子 3 は、基板 3 1 と、基板 3 1 上に等間隔に配列されており、ダイヤモンドから成る複数の円柱 3 2 (微細突起) を備えている。円柱 3 2 を構成するダイヤモンドは、電子ビーム照射、X線照射、光励起、電流注入、加熱などの励起手段に対して発光特性を有し、かつ発生する光のスペクトル全体はブロードであったり、急峻であったりするが、特に光度が強くなる波長 (発光ピーク波長  $\lambda$  [nm]) を有する。なお、発光効率が劣ることになるが、発光ピーク波長に代えて他の波長成分に合わせて柱状体 (円柱 3 2) の断面形状を設計し、所望の波長成分の光を取り出すことも考えられる。

## 【0068】

図 7 は、円柱 3 2 の端面 3 2 f の形状を示す。図 7 に示すように、端面 3 2 f は、半径が  $r$  [nm] の円である。ただし、半径  $r$  [nm] は、下記式 (5) の関係式を満たす範囲内において、半径  $r$  の約 6 倍が発光ピーク波長の整数倍になるように調整されている。

## 【0069】

【数 2 1】

$$3\sqrt{3}r < C_3 < 2\pi r \dots (5)$$

$$n\lambda = C_3 \approx 6r \dots (6)$$

$C_3$  : 円柱 3 2 の内部で発生した光が円柱 3 2 の側面で反射しつつ同一周回路を周回するときの一周の距離 [nm]

$n$  : 任意の正の整数

【0 0 7 0】

円柱 3 2 の直径は、円柱 3 2 の高さの  $1/2$  以下（アスペクト比が 2 以上）であり、かつ 500 nm 以下になるように調整されている。

【0 0 7 1】

また、端面 3 2 f の面積は、円柱 3 2 の柱状体全面積の  $1/10$  以下になるように調整されている。

【0 0 7 2】

次に、ダイヤモンド素子 3 の作用・効果を説明する。円柱 3 2 は低屈折率物質で覆われているので、円柱 3 2 内部で発生した光の一部は円柱 3 2 の側面で反射を繰り返す。図 7 に、側面で反射しつつ進行する光の経路が示されている。かかる進行経路を一周する距離は、 $3(3^{1/3})r \sim 2\pi r$  [nm] の範囲内にある。したがって、端面 3 2 f の半径  $r$  [nm] が、上記式 (5) の関係式を満たす範囲内において、半径  $r$  の約 6 倍が発光ピーク波長の整数倍になるように調整されることにより、光（柱状体の長さ方向に対し垂直に進行する光又は柱状体の長さ方向に僅かな進行成分を含む光）は進行経路において定常波となる。そのため、円柱 3 2 内部で光が共振し、減衰することなく光が外部に取り出される。その他実施形態 1 におけると同様の作用・効果を得ることができる。

【0 0 7 3】

ダイヤモンドは間接遷移型であるが、非常に結合の強いエキシトンを形成し、エキシトン発光をする材料である。微量ではあるがフォノンを伴わないフリーエキシトンの発光が見られたり、TOモードやLOモードのフォノンを  $n$  個伴うエキシトン発光が見られたりする。また、エキシトンが多数集まったドロプレット



からの発光も見られる。さらに、ボロンや不純物が存在すると束縛されて、バウンズエキシトンの発光が見られたりする。このような発光は、230～240 nmの間で材料中の不純物などの状態によって発光ピークの異なる発光が存在し、いろいろな発光波長の発光を実現できる。また、ボロンが多量に入ると250 nmでの発光が見られたり、欠陥が存在すると300～400 nmあたりに室温でブロードな発光が見られたり、バンドAと呼ばれるブロードな発光が420 nmあたりに存在する。また、窒素や欠陥起因によるH3センター、NVセンター、GRセンターなど500 nmから750 nmにかけてあらゆる波長の発光が実現される。以上のように、230 nmから可視光にかけての発光波長を実現することができる。このような発光と幾何学的な加工形状を組み合わせることが可能である。

## 【0074】

図4は、微細加工ダイヤモンド素子の別の実施形態を示す。本発明の微細加工ダイヤモンド素子は、柱状体の先端にダイヤモンドの孤立粒子が乗せられたような形状であってもよい。この場合は、孤立粒子と柱状体の先端との接合面積が小さいので、孤立粒子内部で発生したキャリア（電子・正孔）の閉じ込め効果が顕著になる。

## 【0075】

上記実施形態では、柱状体の断面形状は、発光波長が共振するように設計されているが、それに代えてダイヤモンド中の電子又は正孔のドブロイ波長が共振するように設計してもよい。すなわち、下記の式（9）及び（10）を満たすように設計される。この場合は、柱状体断面の幅又は直径を50 nm以下にする必要がある。

## 【0076】

## 【数22】

$$n\gamma \approx 2a \cdots (9)$$

$$m\gamma \approx 2ka \cdots (10)$$

n：任意の正の整数

m : 任意の正の整数

$\gamma$  : ダイヤモンド中における電子又は正孔のドブロイ波長 [nm]

a : 長辺の長さ [nm]

k : 短辺の長さの長辺の長さに対する比

【0077】

次に、微細加工トランジスタ素子製造方法の実施形態を説明する。まず、単結晶ダイヤモンド基板又は高配向ダイヤモンド膜若しくはヘテロエピタキシャルダイヤモンド膜が形成されたダイヤモンド以外の材質の基板（Si など）を用意する。

【0078】

基板上に Al、 $\text{SiO}_2$  などのマスク材料の膜を形成し、フォトリソグラフィー技術でパターニングする。それをマスクとしてエッチングして、高アスペクト比のダイヤモンド突起を形成する。マスクのパターニングにより所望の突起の形状（四角形、正六角形、円形等）及び配列を得ることができる。

【0079】

その後、水素を主原料とするガスのプラズマ中で突起を処理し、ダイヤモンド結晶を再構成することにより側面をダイヤモンド結晶面にすることができる。この場合、ダイヤモンドの面方位が変形する突起の形状に影響を与える。例えば、(100) 基板の場合は、側面及び端面に (100) 面が現れる四角柱となりやすい。(110) 基板の場合は、側面に (110) 面又は (100) 面が現れる四角柱又は六角柱となりやすい。(111) 基板の場合は、側面に高指数面が表れる六角柱となりやすい。

【0080】

突起が高配向ダイヤモンド膜から形成された場合は、プラズマ処理をしても角柱側面における面方位は揃わない。この場合は、プラズマ処理をせずにエッチングプロセスだけで突起の形状を成形することになる。

【0081】

【実施例】

以下、実施例により、本発明の内容を更に具体的に説明するが、本発明はこれ

らの実施例に限定されるものではない。

【0082】

(実施例1)

まず、(100)ダイヤモンド基板にAl膜をスパッタリングや蒸着法で形成する。Al膜の厚さは500Å～2μm程度で、パターンニングサイズや突起の高さに応じて決定する。Alとダイヤモンドのエッチング比が10以上であるので、5μm以下の高さの突起の場合は、0.5μmの厚さのAlで十分であった。

【0083】

形成されたAl膜はフォトリソグラフィ技術によって微細パターンが形成された。パターンが微細である場合、Al膜の厚さが薄い方がエッチングしやすい。突起の端面パターンは四角でもよいが円形にした。かかるAl膜をマスクとして、酸素中に1～3%のCF<sub>4</sub>を添加したガス中でRIE技術によってエッチングした。プラズマガスが酸素のみである一つの突起の先端部に多数本の針状部が形成されるが、CF<sub>4</sub>が1～3%添加されることにより針状部の本数は最適な一本になる。

【0084】

エッチングがなされたダイヤモンド基板を表4に示される条件でプラズマ処理した。

【0085】

【表 4】

番号	プラズマガス及び流量	圧力(Torr)	パワー(W)	基板温度(°C)	処理時間
1	H <sub>2</sub> :100sccm	25	1300	750	約30分
2	H <sub>2</sub> :300sccm	50	1300	750	約30分
3	H <sub>2</sub> :300sccm	100	1300	750	約38分
4	CO <sub>2</sub> :3sccm+H <sub>2</sub> :297sccm	100	1300	750	約10分
5	H <sub>2</sub> :100sccm	25	1000	900	約30分
6	H <sub>2</sub> :100sccm	25	1300	750	約30分
7	H <sub>2</sub> :100sccm	25	300	750	約30分
8	CO <sub>2</sub> :3sccm+H <sub>2</sub> :297sccm	25	1300	750	約10分
9	H <sub>2</sub> :100sccm	25	1300	750	約30分
10	H <sub>2</sub> :100sccm	25	1300	750	約30分
11	H <sub>2</sub> :100sccm	25	1300	750	約30分
12	H <sub>2</sub> :100sccm	25	1300	750	約15分
13	H <sub>2</sub> :100sccm	25	1300	750	約10分

その結果、全ての場合において円形の突起は四角柱に整形された。条件によって処理時間の長短の違いはあったが、基本的にダイヤモンドが合成される条件であればメタン濃度を非常に下げ、水素過剰条件あるいは酸素添加条件にすること

によって整形は可能であった。パワーが大きく、基板温度が高いほど処理時間は短くなり、整形は困難になった。また、ダイヤモンドが形成できずそれ以外のものができる条件では整形も不可能であった。表 1 に示す条件の中でも番号 1、6 及び 9 ないし 13 の条件によると、四角柱の側面をきれいな平坦にすることができた。特に、圧力条件 10 ~ 30 Torr、基板温度 650 ~ 850℃ の範囲が良好であった。その中でも、圧力条件 25 Torr、基板温度 750℃ の条件は制御性、形のきれいさの点で最も優れていた。

## 【0086】

## (実施例 2)

(100) ダイヤモンド基板上にフォトリソグラフィーにより等間隔に整列された円形 A1 マスクを形成し、RIE を施した。その結果、整列した円柱状に近い針状突起が形成された。図 9 に、円形 A1 マスクを用いて形成された突起を示す。針状のように見えるのは、A1 マスクが非常に小さかったこと、小さいマスクであるにも関わらず非常に深くエッチングすることができたことによる。円形 A1 マスクが大きい場合は、見た目も円柱の突起ができる。

## 【0087】

この針状突起に、 $H_2$  流用 100 sccm、圧力 25 Torr、パワー 1300 W、基板温度 750℃、処理時間 10 ~ 15 分の条件でプラズマ処理を施した。その結果、針状突起は四角柱に整形された。これは、基板の面方位が (100) であったためである。特に細いもので一辺が 50 nm になった。図 10 A に本実施例の四角柱を、図 10 B にその部分拡大図を示す。なお、図 10 に示すように、四角柱の根元には裾が広がるようにダイヤモンドが堆積した。

## 【0088】

図 11 A に本実施例の四角柱の端面を、図 11 B にその部分拡大図を示す。図 11 A に示すように、端面は正方形のものが多く、長方形のものもある。これは円形 A1 マスクのサイズ及び形状のばらつきによる。サイズ及び形状に関して円形 A1 マスクのパターニング制御が精密であれば、全ての四角柱をほぼ同じ形と大きさに揃えることができる。

## 【0089】

## (実施例 3)

反応室内に (100) ダイヤモンド基板に近接して (5 cm 以内に) マスク材料となる金属を配置した上、このダイヤモンド基板に R I E を施した。マスク材料の破片がダイヤモンド基板上に付着し、マイクロマスクとして機能した。その結果、ランダムに配列された針状突起が形成された。図 1 2 に、マイクロマスクを用いて形成された突起を示す。本実施例の方法によって形成されるマイクロマスクのサイズは非常に小さいため、突起は実施例 2 の場合よりも細く、配列の細かいものになった。特に細いものは一辺が 10 nm 以下になった。

## 【0090】

この針状突起に、実施例 2 と同じ条件でプラズマ処理を施した。その結果、針状突起は四角柱に整形された。これは、基板の面方位が (100) であったためである。特に細いもので一辺が 50 nm になった。図 1 3 A に本実施例の四角柱を、図 1 3 B にその部分拡大図を示す。図 1 4 に本実施例の四角柱の端面を示す。

## 【0091】

## (実施例 4)

(111) ダイヤモンド基板に、実施例 2 と同じエッチング及びプラズマ処理 (ただし、処理時間は約 30 分) を施した。その結果、六角柱が形成された。図 1 5 に本実施例の六角柱を示す。図 1 6 に本実施例の六角柱の端面を示す。図 1 6 に示すように、正六角形からずれることもあるが正六角形にすることもできた。側面は低指数面ではないが、エッチングで形成される面よりもきれいな平坦面であった。

## 【0092】

また、先端とそれを支えている部分との接合部の面積が小さく、孤立粒子が乗っているような突起も観察できた。図 1 7 は、先端に孤立粒子のある形態における結晶構造を説明する図である。図 1 7 に示すように、先端部だけ (100) 面が現れることによって孤立粒子となる。これを利用して、先端に孤立粒子のある形態を作製することができる。

## 【0093】

## (実施例 5)

(110) ダイヤモンド基板に、実施例 2 と同じエッチング及びプラズマ処理 (ただし、処理時間は約 30 分) を施した。その結果、四角柱又は六角柱が形成された。図 18 に本実施例の四角柱又は六角柱を示す。図 19 に本実施例の四角柱又は六角柱の端面を示す。図 16 に示すように、正六角形からずれることもあるが正六角形にすることもできた。A1 のサイズや形状を一定に制御することによって正六角形の均一な形状でも可能である。側面は 2 つの面は (100) 面である。残りの面は (100) 面又はその他の必ずしも低指数面ではない結晶面が現れたが、エッチングで形成される面よりもきれいな平坦面であった。

## 【0094】

また、先端とそれを支えている部分との接合部の面積が小さく、孤立粒子が乗っているような突起も観察できた。図 20 は、先端に孤立粒子のある形態における結晶構造を説明する図である。図 20 に示すように、先端部だけ (100) 面が現れることによって孤立粒子となる。これを利用して、先端に孤立粒子のある形態を作製することができる。

## 【0095】

## (実施例 6)

実施例 2 と同様のエッチングプロセスにより、円柱状の柱状体を備える微細加工ダイヤモンド素子を形成した。試料 1 として、発光ピーク波長が 500 nm となるようにホウ素、窒素などの含有量が調整されたダイヤモンド基板が用いられた。また、試料 2 として、発光ピーク波長が 400 nm となるようにホウ素、窒素などの含有量が調整されたダイヤモンド基板が用いられた。

## 【0096】

## (実験結果 1)

試料 1 の微細加工ダイヤモンド素子のカソードルミネッセンス (波長 500 nm の分光成分) を観察したところ、基板も強い光度を示したが、柱状体の光度は更に強かった。

## 【0097】

## (実験結果 2)

試料 1 の微細加工ダイヤモンド素子のカソードルミネッセンス（波長 4 0 0 n m の分光成分）を観察したところ、基板も柱状体も光らなかった。

【0 0 9 8】

（実験結果 3）

試料 2 の微細加工ダイヤモンド素子のカソードルミネッセンス（波長 5 0 0 n m の分光成分）を観察したところ、基板は暗いが、柱状体の光度は強かった。

【0 0 9 9】

（実験結果 4）

試料 2 の微細加工ダイヤモンド素子のカソードルミネッセンス（波長 4 0 0 n m の分光成分）を観察したところ、基板の光度は強かったが、逆に柱状体は暗かった。

【0 1 0 0】

以上の実験結果から、本実施形態の柱状体は、波長 5 0 0 n m の光を効率的に発光させるが、波長 4 0 0 n m の光を減衰させてしまうことがわかる。これにより、素材となるダイヤモンドの発光ピーク波長の光が共振するように柱状体の形状を調整することによって、言い換えれば柱状体の共振波長と発光ピーク波長が一致するようにダイヤモンドを調整することによって発光効率が向上するという本発明の原理が実証される。

【0 1 0 1】

また、実験結果 1 及び 3 の結果から、柱状体の共振波長と発光ピーク波長が一致するときには、キャリア（電子・正孔）の閉じ込め効果により柱状体における発光効率が向上することがわかる。

【0 1 0 2】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明により、発光効率を向上させる形状の微細加工ダイヤモンド素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

ダイヤモンド素子 1 を簡略化した模式図である。



【図 2】

ダイヤモンド素子 2 を簡略化した模式図である。

【図 3】

ダイヤモンド素子 3 を簡略化した模式図である。

【図 4】

微細加工ダイヤモンド素子の別の実施形態を示す。

【図 5】

四角柱 1 2 の端面 1 2 f の形状を示す。

【図 6】

六角柱 2 2 の端面 2 2 f の形状を示す。

【図 7】

円柱 3 2 の端面 3 2 f の形状を示す。

【図 8】

ダイヤモンド素子 1 を適用したトランジスタ 8 の縦断面図である。

【図 9】

円形 A 1 マスクを用いて形成された突起を示す。

【図 1 0】

図 1 0 A は実施例 2 の四角柱を、図 1 0 B はその部分拡大図を示す。

【図 1 1】

図 1 1 A は実施例 2 の四角柱の端面を、図 1 1 B はその部分拡大図を示す。

【図 1 2】

マイクロマスクを用いて形成された突起を示す。

【図 1 3】

図 1 3 A は実施例 3 の四角柱を、図 1 3 B はその部分拡大図を示す。

【図 1 4】

実施例 3 の四角柱の端面を示す。

【図 1 5】

実施例 4 の六角柱を示す。

【図 1 6】

実施例 4 の六角柱の端面を示す。

【図 1 7】

先端に孤立粒子のある形態における結晶構造を説明する図である。

【図 1 8】

実施例 5 の四角柱又は六角柱を示す。

【図 1 9】

実施例 5 の四角柱又は六角柱の端面を示す。

【図 2 0】

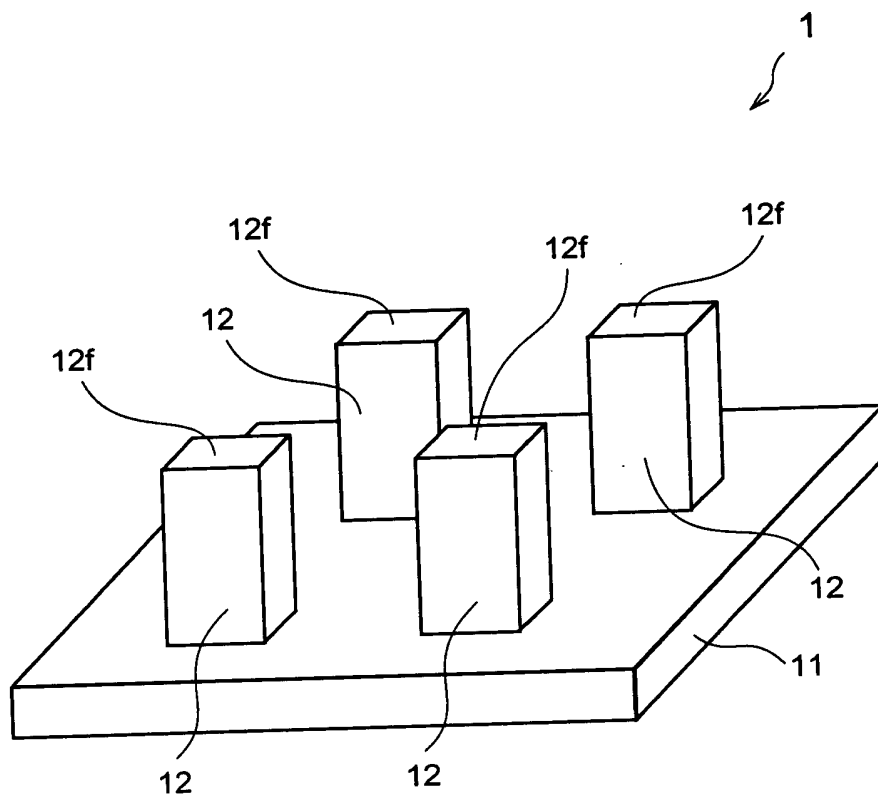
先端に孤立粒子のある形態における結晶構造を説明する図である。

【符号の説明】

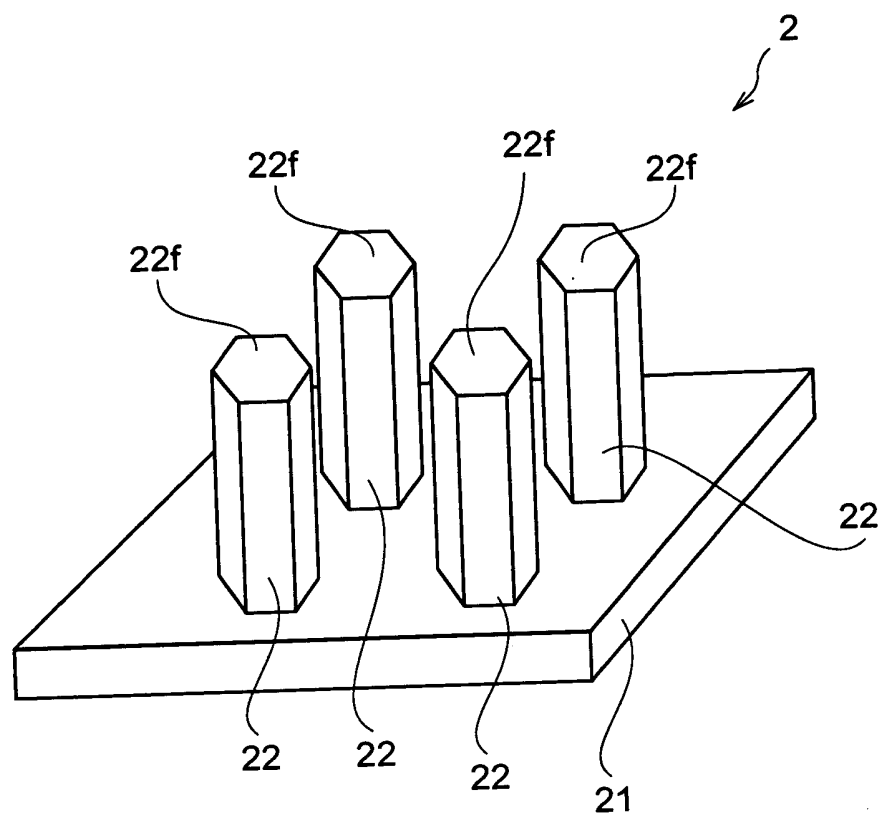
1、2、3…ダイヤモンド素子、1 1、2 1、3 1…基板、1 2…四角柱、2 2…六角柱、3 2…円柱、1 2 f、2 2 f、3 2 f…端面、1 3、2 3…SiO<sub>2</sub>薄膜、8…トランジスタ、8 2…電極金属膜、8 4…ゲート金属膜、8 6…絶縁膜。

【書類名】 図面

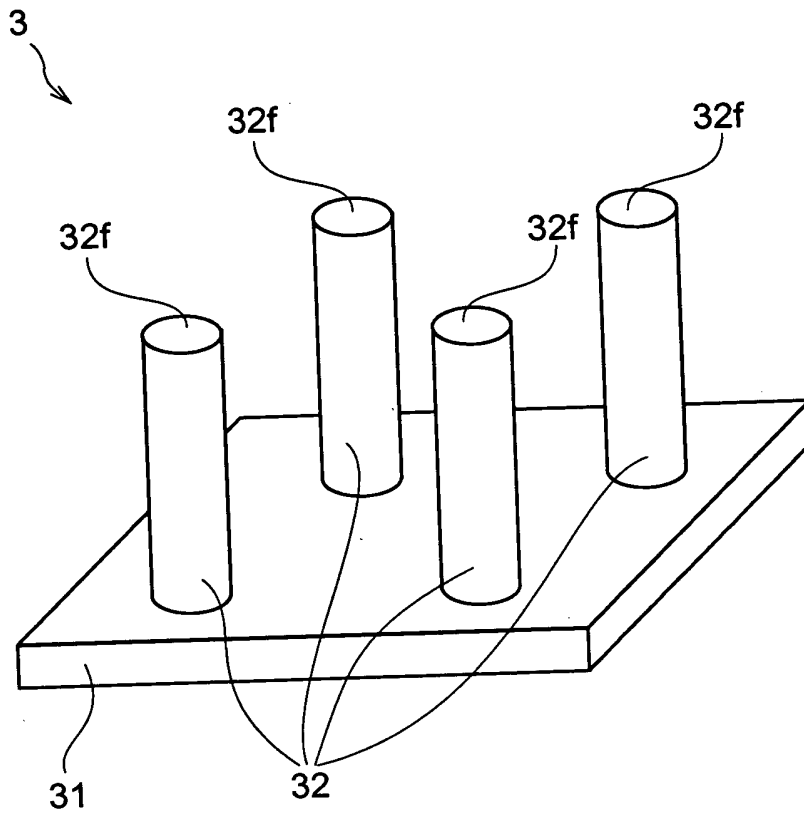
【図 1】



【図 2】

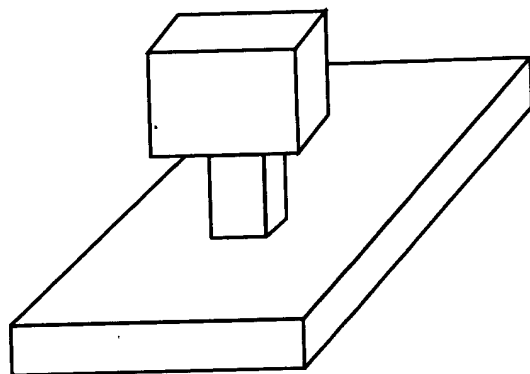


【図 3】

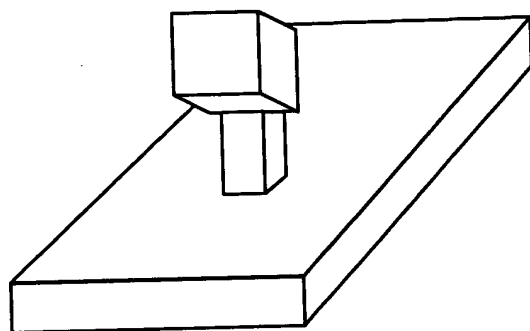


【図 4】

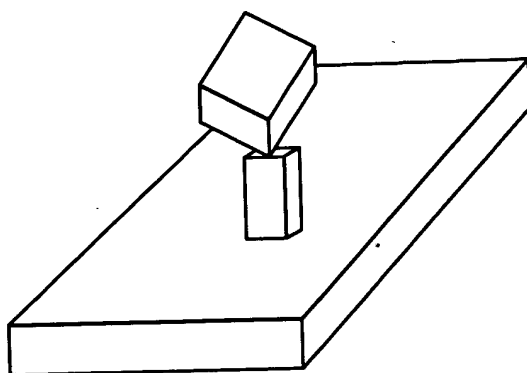
A



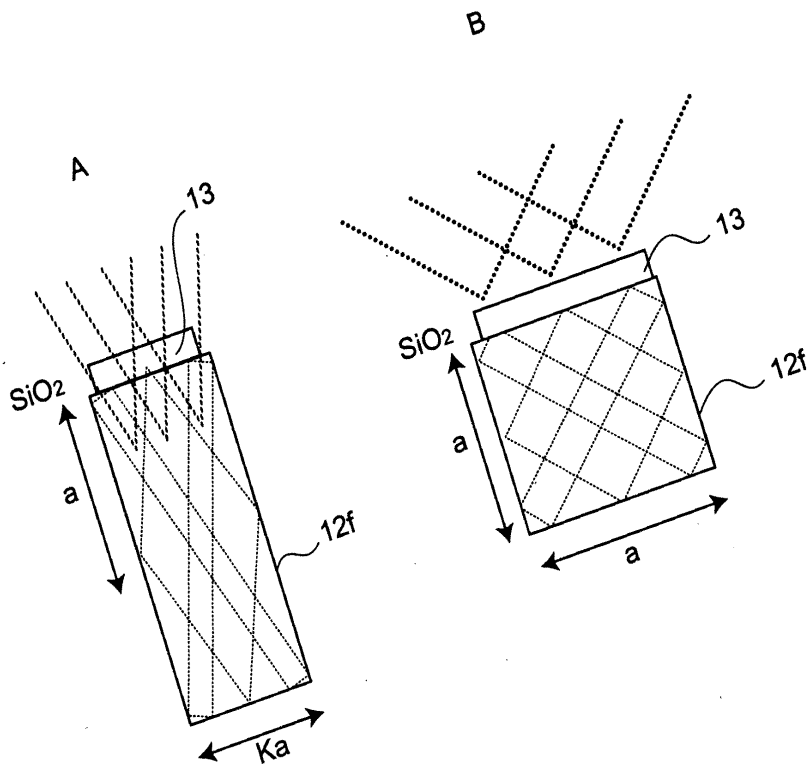
B



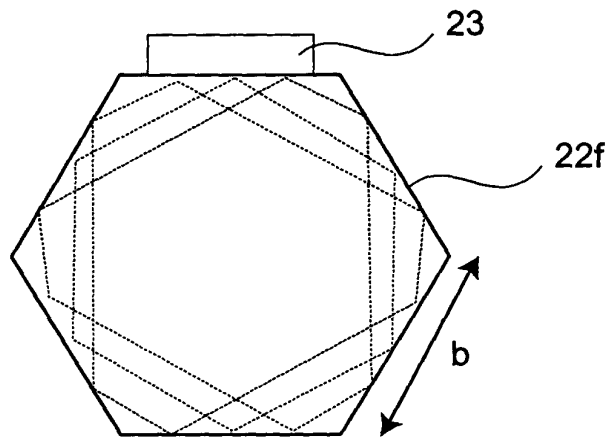
C



【図5】

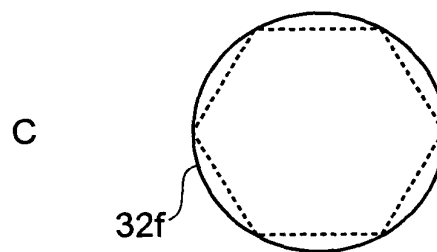
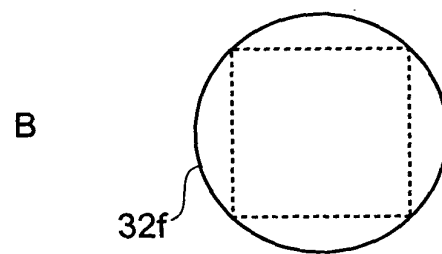
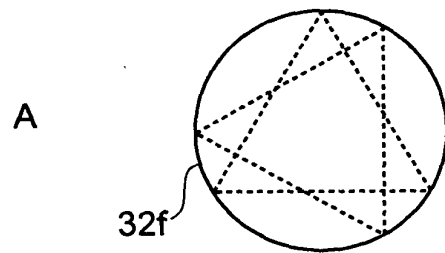


【図 6】

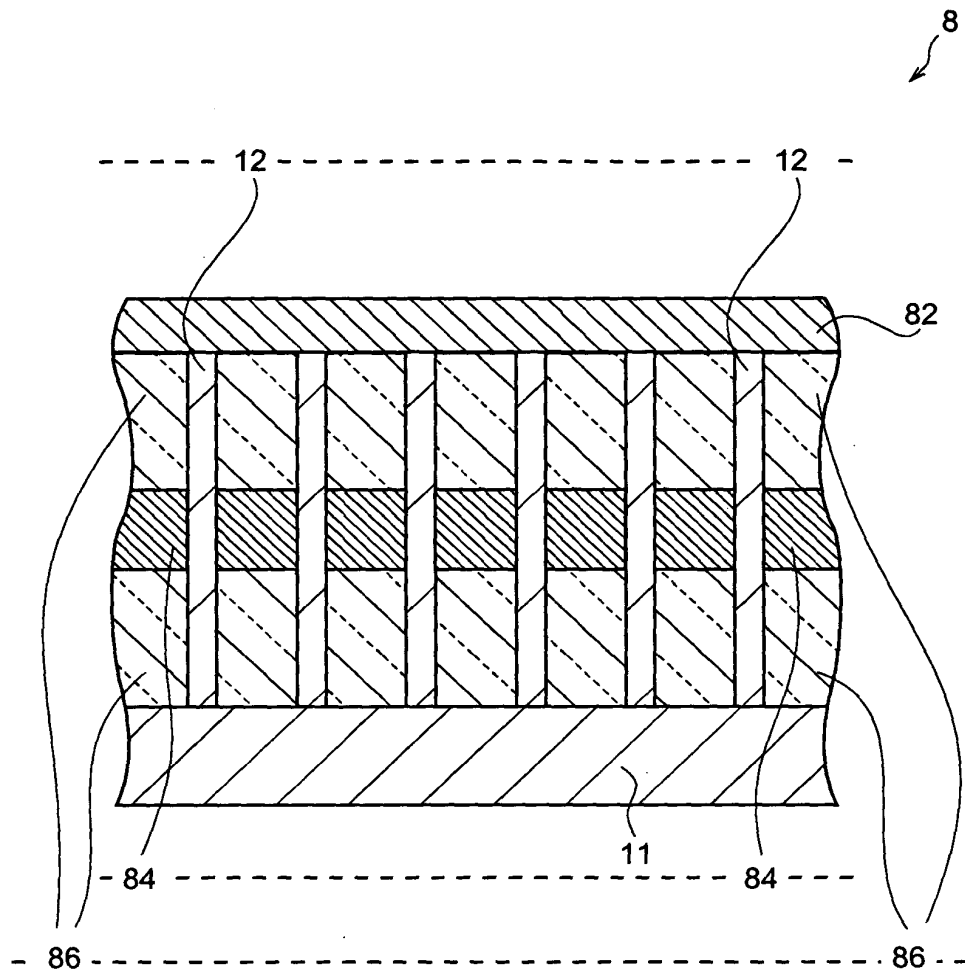




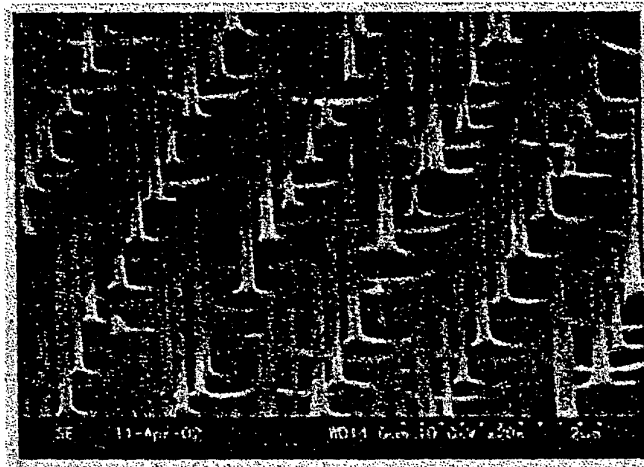
【図 7】



【図 8】

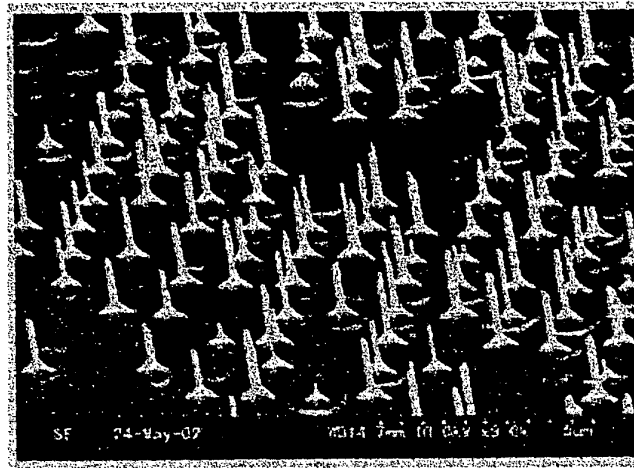


【図9】

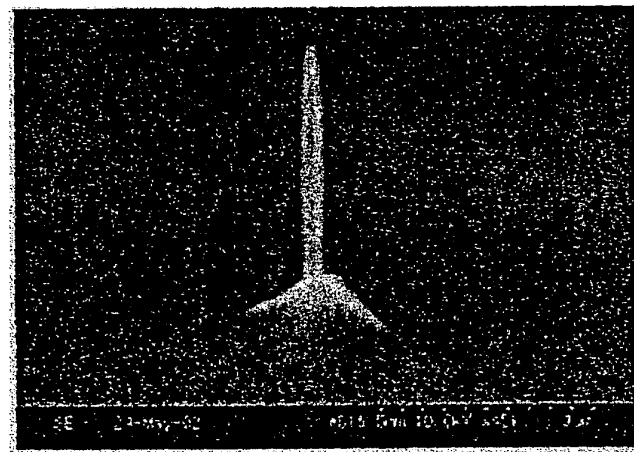


【図 1 0】

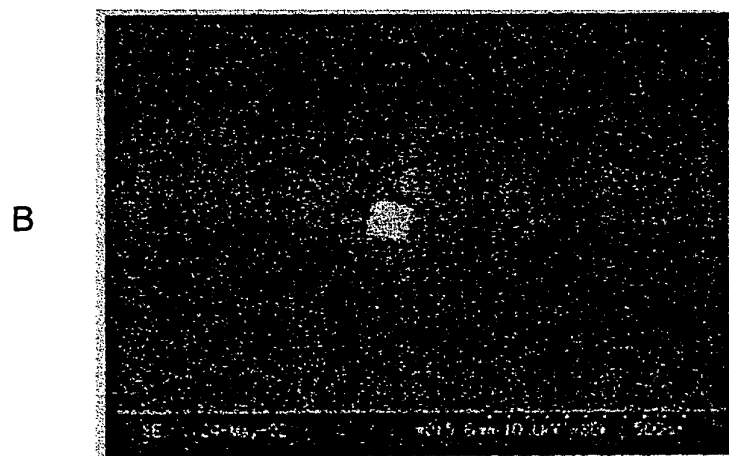
A



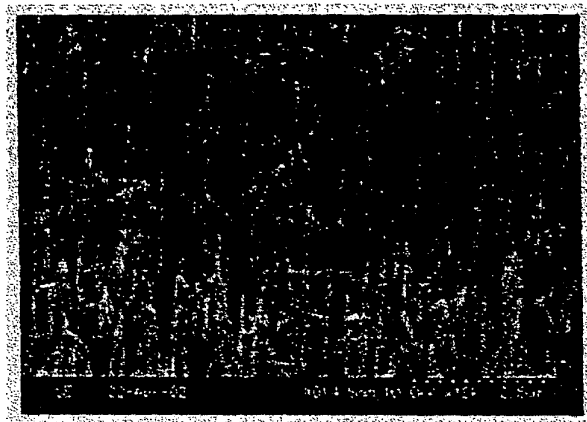
B



【図 11】

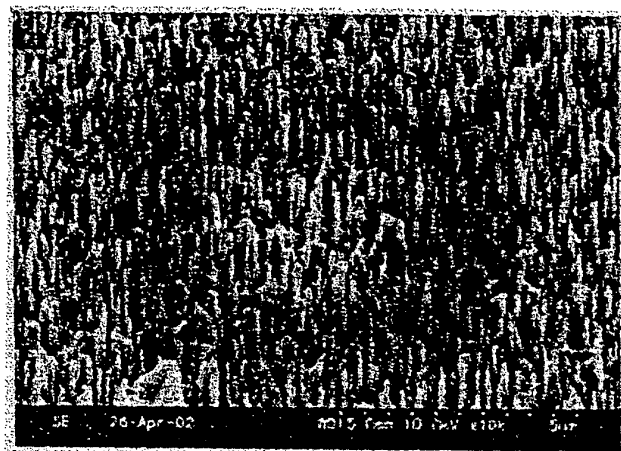


【図 1 2】



【図 1 3】

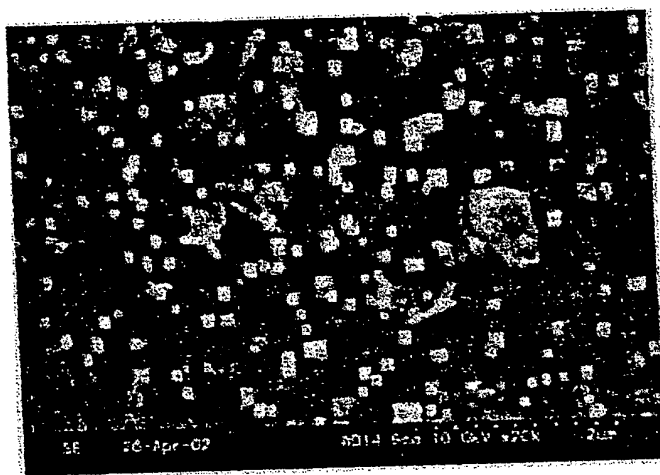
A



B

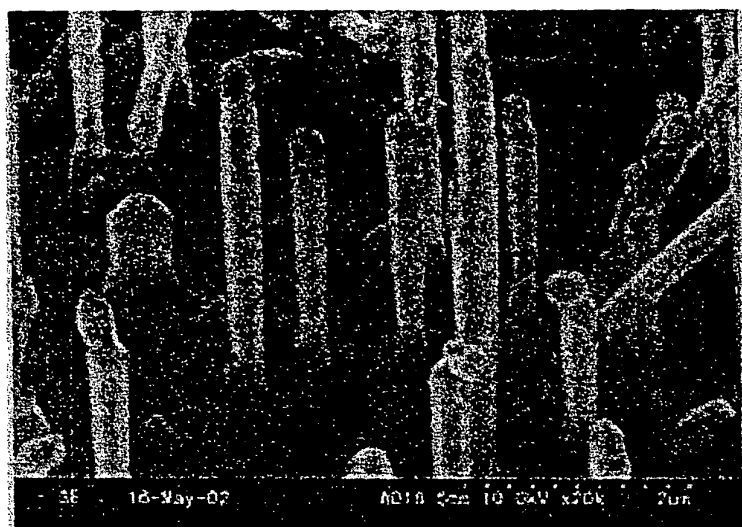


【図14】

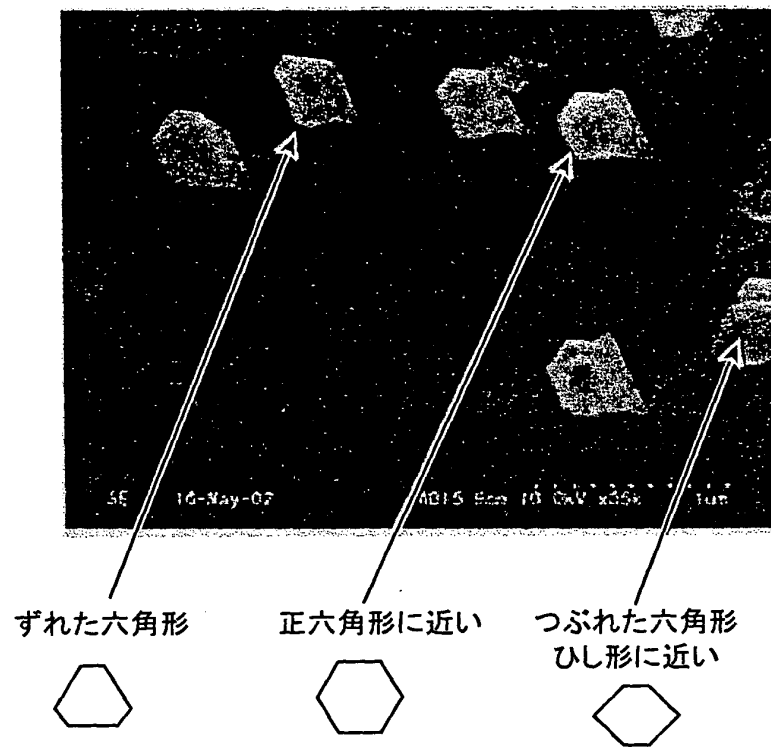




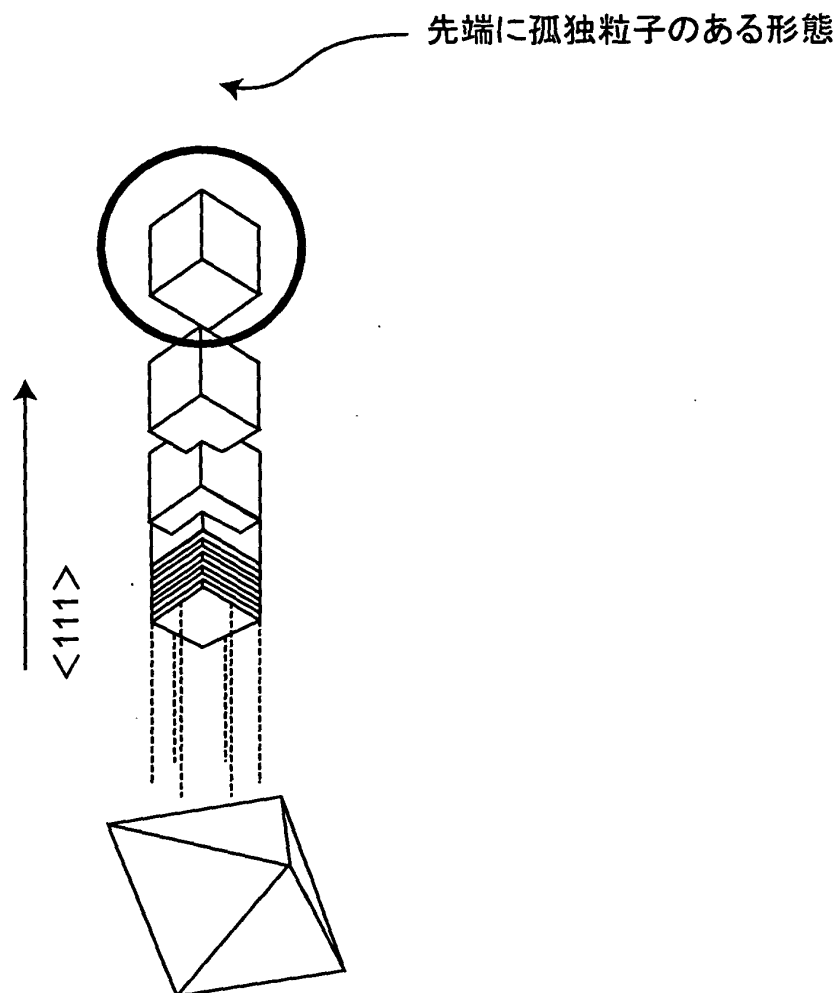
【図15】



【図 16】



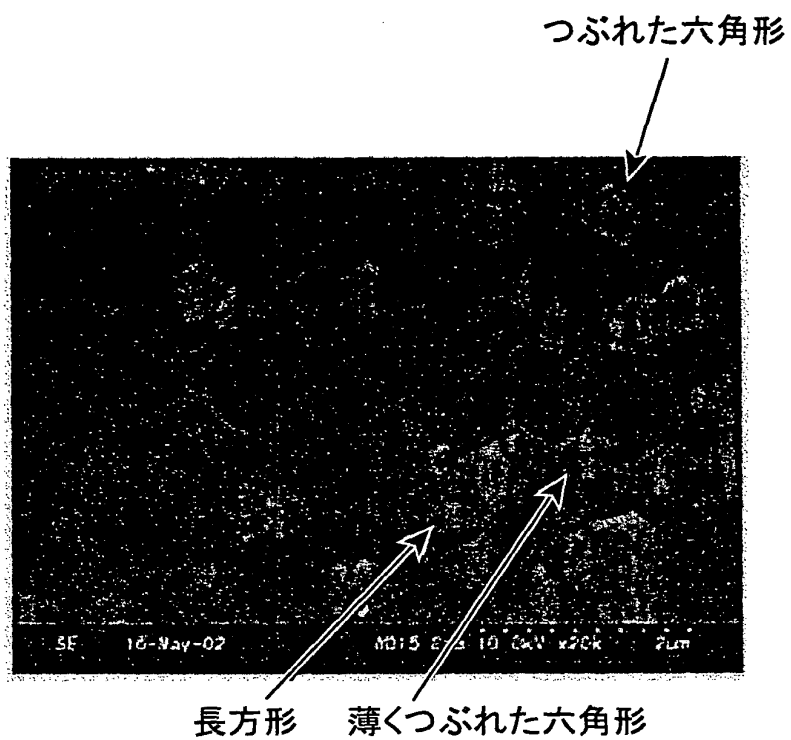
【図 1 7】



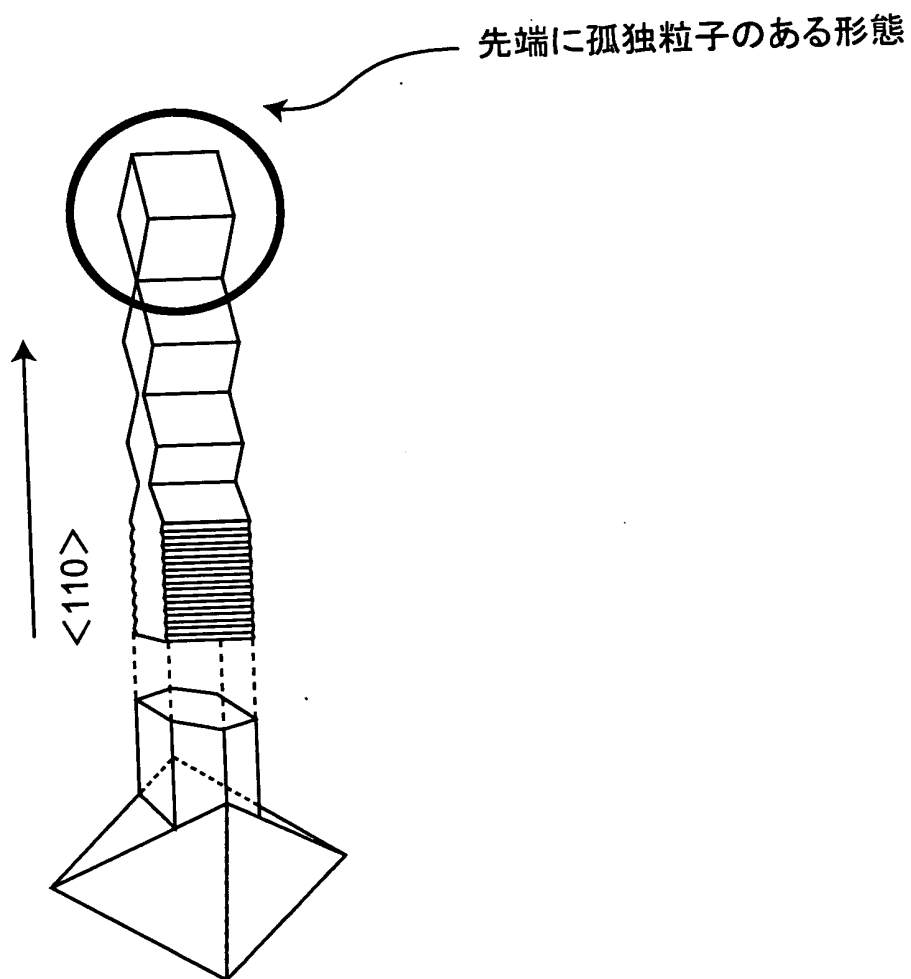
【図18】



【図19】



【図 2 0】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 発光効率を向上させる形状の微細加工ダイヤモンド素子を提供する。

【解決手段】 ダイヤモンド素子 1 は、基板 11 と、基板 11 上に等間隔に配列されており、複数のダイヤモンドから成ると共に側面が平坦面である四角柱 12（微細突起）を備えている。端面 12f は、長辺の長さが  $a$  [nm]、短辺の長さが  $ka$  [nm] の四角形であり、短辺側の側面に  $\text{SiO}_2$  薄膜 13 が形成されている。ただし、長辺の長さ  $a$  [nm]、短辺の長さ  $ka$  [nm] は下記式（1）及び（2）の関係式を満たす。

【数 1】

$$C_1 = 2a\sqrt{1+k^2} \dots (1)$$

$$n\lambda \approx C_1 \dots (2)$$

$C_1$ ：四角柱 12 の内部で発生した光が四角柱 12 の側面で反射しつつ同一周回路を周回するときの一周の距離 [nm]

$n$ ：任意の正の整数

$\lambda$ ：四角柱 12 を構成するダイヤモンドの発光ピーク波長  $\lambda$  [nm]

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000173522]

1. 変更年月日

1990年 8月27日

[変更理由]

新規登録

住 所

愛知県名古屋市熱田区六野2丁目4番1号

氏 名

財団法人ファインセラミックスセンター



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000002130]

1. 変更年月日

1990年 8月29日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

氏 名

住友電気工業株式会社